

PEMBUATAN ASAP CAIR DARI TEMPURUNG KELAPA, TONGKOL JAGUNG, DAN BAMBU MENGUNAKAN PROSES *SLOW PYROLYSIS*

Karolus Boromeus Reta, S.P Abrina Anggraini

PS. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhwana Tunggadewi

Abstract

The fermentation process is generally carried out in the community is in a batch, but the process is the concentration of ethanol produced is quite low because of accumulated ethanol production will poison the microorganisms in the fermentation process. Ethanol productivity of batch processes is very small because it takes a long time of about 72 hours. High and low ethanol content is determined in part by sugar levels in the substrate. Sugar compounds are required as a carbon source of energy yeasts. This study aims to determine the maximum results from the opening of flow rate and flow of glucose concentration on the effectiveness of the process and the quality of ethanol. The method used is fluidized semikontinyu fermentation system using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized with the order. The results showed that the fermentation process fluidization semikontinyu that teramobilisasi with that carried out during the first day with a sugar concentration of 15%, 20%, 25%, 30% derived ethanol content of 5%, 8%, 13%, 15% at a flow rate of 30 openings °. Ethanol is also obtained by 8%, 12%, 18%, 20% in opening a flow rate of 60 °. Ethanol is also obtained by 8%, 13%, 19%, 21% in opening a flow rate of 90 °.

Kata kunci : fermentation, fluidization, ethanol

Pendahuluan

Di Indonesia, masyarakat telah banyak memanfaatkan bambu, tempurung kelapa dan tongkol jagung untuk keperluan, mulai dari bidang kerajinan, sampai penggunaannya sebagai elemen struktur pada bangunan. Sedangkan hasil dari olahan tersebut di bakar dan di buang sehingga menjadi sampah. Berdasarkan latar belakang maka solusi untuk masalah tersebut dengan memanfaatkan limbah pertanian (tempurung kelapa, tongkol jagung dan bambu) menjadikan asap cair grade 3. Asap cair grade 3 manfaat sebagai anti bakteri dan anti oksidan (bahan pengawet alternatif yang alami).

Hasil pengamatan dari aspek asap cair mampu sebagai koagulan dan pengawet koagulan lateks dilihat dari pengamatan sifat fisik koagulan lateks seperti warna, bau, tekstur permukaan, jamur dan dengan adanya senyawa asam dan fenol sebagai anti bakteri dan anti oksidan yang sangat cocok digunakan untuk penggumpalan karet. Pada pengolahan karet dengan akan menaikkan mutu pengolahan karet supaya mematikan bakteri pembusuk yang melakukan biodegradasi protein di dalam bokar menjadi ammonia dan sulfida. Munculnya teknologi pengolahan asap cair, kini tempurung kelapa, tongkol jagung dan bamboo diolah menjadi asap

cair (grade 3) sehingga bisa digunakan sebagai pengganti lateks dalam pengolahan karet karena mengandung fenol. Adanya fenol dengan titik didih tinggi dalam asap merupakan zat anti bakteri yang tinggi. Senyawa fenol menghambat pertumbuhan populasi bakteri dengan memperpanjang fase lag secara proporsional di dalam bodi atau di dalam produk sedangkan kecepatan pertumbuhan dalam fase eksponensial tetap tidak berubah kecuali konsentrasi fenol sangat tinggi (Barylko dan Pikielna, 1978 dalam Abdul., dkk, 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa – senyawa kimia yang ada dalam asap cair grade 3 dari bahan baku tempurung kelapa, tongkol jagung dan bambu.

Tempurung kelapa

Pohon kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan tanaman tropis yang penting bagi negara Asia dan Pasifik terutama sebagai penghasil kopra. Kelapa disebut pohon kehidupan karena kelapa merupakan tumbuhan serba guna yang hampir semua bagiannya bermanfaat bagi kehidupan manusia. Menurut Arancon (1997) dalam APCC (2000), di Indonesia terdapat perkebunan kelapa seluas 3.7 juta hektar.

Tempurung kelapa terletak di bagian dalam kelapa setelah sabut. Pada bagian pangkal tempurung terdapat 3 buah lubang (*ovule*) yang menunjukkan bahwa bakal buah asalnya berlubang 3 dan yang tumbuh biasanya satu buah. Tempurung kelapa merupakan lapisan yang keras dengan ketebalan antara 3 mm sampai 5 mm. Sifat kerasnya disebabkan oleh banyaknya kandungan silika (SiO_2) yang terdapat pada tempurung tersebut. Dari berat total buah kelapa, antara 15% sampai 19% merupakan berat tempurungnya. Selain itu tempurung juga banyak mengandung lignin. Pada

umumnya, nilai kalor yang terkandung dalam tempurung kelapa adalah berkisar antara 18200 KJ/Kg hingga 19338,05 KJ/Kg (Palukun, 1999 dalam Draha, 2009).

Tabel 1 Komposisi kimia tempurung kelapa

Komponen	Jumlah (%)
Air	8.00
Abu	0.60
Pentosan	27.0
Lignin	29.4
Sellulosa	26.6
Uronat anhidrad	3.50
Solvent Ekstratif	4.20
Nitrogen	0.11

(Subardiyono, 1995 dalam Draha, 2009)

Tongkol jagung

Jagung merupakan komoditas palawija utama di Indonesia ditinjau dari aspek pengusahaan dan penggunaan hasilnya, yaitu sebagai bahan baku pangan dan pakan. Kebutuhan jagung terus meningkat seiring dengan terus meningkatnya permintaan bahan baku pakan. Komposisi bahan baku pakan ternak unggas membutuhkan jagung sekitar 50% dari total bahan yang diperlukan (Sarasutha, 2002). Jumlah produksi tanaman jagung dari tahun 2005 – 2010 di Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah produksi tanaman jagung tahun 2005 – 2010 di Jawa Timur

Tahun	Luas panen (Ha)	Produktivitas (Ku/Ha)	Produksi (Ton)
2005	1.206.177	36,47	4.398.502
2006	1.099.184	36,49	4.011.182
2007	1.153.496	36,86	4.252.182
2008	1.235.933	40,88	5.053.107
2009	1.295.070	40,67	5.266.720
2010	1.257.721	44,42	5.587.318

Limbah yang dihasilkan diantaranya adalah tongkol jagung yang biasanya tidak dipergunakan lagi ataupun nilai ekonominya sangat rendah. Umumnya tongkol jagung dipergunakan sebagai pakan ternak sapi, ataupun di daerah pedesaan tongkol jagung ini dapat

dimanfaatkan sebagai obat diare (Suprpto dan Rasyid, 2002 dalam Soeprijanto., dkk, 2008). Komposisi tongkol jagung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi kimia tongkol jagung

Komponen	Jumlah (%)
Air	9.6
Abu	1.5
Hemiselulosa	36.0
Selulosa	41.0
Lignin	6.0
Pektin	3.0
Pati	0.014

(Lorenz dan Kulp, 1991 dalam IPB, 2007)

Bambu

Tanaman bambu mempunyai banyak manfaat. Akar bambu berfungsi sebagai penahanerosi atau mencegah bahaya banjir. Secara tradisional, masyarakat di beberapa daerah di Indonesia, telah membuat peralatan musik, olah raga, rekreasi, pembungkus, sayuran, obat-obatan dari bambu malahan senjata sewaktu perjuangan melawan penjajah. Dimasa kini, industri telah mengembangkan bambu menjadi pulp dan kertas, bambu lapis (*ply bambu*), dan bagian dari *composite board*. Komposisi bambu dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Komposisi kimia bambu

Komponen	Jumlah (%)
Ekstrak larut air dingin	3.70
Ekstrak larut air panas	6.23
Ekstrak larut alkohol Bz	3.74
α -Selulosa	44.22
Holo-Selulosa	75.57
Lignin	27.17

(Berlian dan Rahayu, 1995 dalam Draba, 2009)

Proses *slow pyrolysis*

Proses pirolisis kadang-kadang diartikan sama dengan proses karbonisasi. *Slow pyrolysis* dapat dikategorikan sebagai *low-tech* dan teknologi yang kuat yang telah dioptimalkan untuk produksi bio-arang. Produk cairan dan gas dalam beberapa desain proses keluar sebagai asap yang

dapat menimbulkan polusi udara. Proses pirolisis dibagi dalam tahap beberapa temperatur, (Fachrizal, dkk, 2008):

- Temperatur 20 – 110 °C
Biomassa mengabsorpsi panas untuk proses pengeringan
- Temperatur 110 – 270 °C
Biomassa mulai terdekomposisi membentuk CO, CO₂, asam asetat dan metanol.
- Temperatur 270 – 290 °C
Pada temperatur ini, merupakan awal dari proses dekomposisi biomassa dengan pelepasan panas.
- Temperatur 290 – 400 °C
Pada temperatur ini, struktur biomassa terdekomposisi dengan melepaskan uap.
- Temperatur 400 – 500 °C
Pada temperatur ini, pembentukan biomassa menjadi arang telah berlangsung mendekati sempurna, namun arang yang terbentuk masih mengandung 30% tar.

Asap cair

Asap cair pada proses ini diperoleh dengan cara kondensasi asap yang dihasilkan melalui cerobong slow pirolisis. Proses kondensasi asap menjadi asap cair sangat bermanfaat bagi perlindungan pencemaran udara yang ditimbulkan oleh proses tersebut. Di samping itu, asap cair yang mengandung sejumlah senyawa kimia berpotensi sebagai bahan baku zat pengawet, antioksidan, desinfektan ataupun sebagai biopestisida (Nurhayati, 2000 dalam Abdul., dkk, 2007). Karakteristik dan pemanfaatan asap cair berdasarkan Grade 3, Grade 2 dan grade 1 adalah:

1. Asap cair grade 3

Asap cair grade 3 tidak dapat digunakan untuk pengawet makanan, karena masih banyak mengandung tar yang karsinogenik. Asap cair grade 3 tidak digunakan sebagai pengawet

bahan pangan, tetapi digunakan pada pengolahan karet, penghilang bau, dan pengawet kayu biar tahan terhadap rayap.

Cara penggunaan asap cair grade 3 untuk pengawet kayu agar tahan rayap dan karet tidak bau adalah: 1 cc asap cair grade 3 dilarutkan dalam 300ml air, kemudian semprotkan atau rendam kayu kedalam larutan.

2. Asap cair grade 2

Asap cair digunakan untuk pengawet makanan sebagai pengganti formalin dengan taste Asap (daging Asap, Ikan Asap/bandeng Asap) berwarna kecoklatan transparan, rasa asam sedang, aroma asap lemah

Cara penggunaan asap cair grade 2 untuk pengawet pengganti formalin pada ikan adalah: celupkan ikan yang telah dibersihkan ke dalam 50% asap cair, tambahkan garam, biasanya ikan yang diawetkan pakai asap cair grade 2 tahan selama 3 hari.

3. Asap cair grade 1

Asap cair grade 1 digunakan sebagai pengawet makanan seperti bakso, mie, tahu, bumbu-bumbu barbaque, berwarna bening, rasa sedikit asam, aroma netral, merupakan asap cair yang paling bagus kualitasnya dan tidak mengandung senyawa yang berbahaya lagi untuk diaplikasikan untuk produk makanan.

Metode Penelitian

Variabel penelitian

- 1) Variabel tetap terdiri dari :
 - Massa sampel 25 Kg
 - Suhu pirolisis 300 °C
 - Lama proses pemanasan: tempurung kelapa = 8 jam, tongkol jagung = 5,5 jam dan bambu = 5,5 jam.
- 2) Variabel berubah merupakan bahan baku yang terdiri dari, tempurung kelapa, tongkol jagung dan bambu

Alat dan bahan

- 1) Alat yang dipergunakan, yaitu Slow Pirolisis (Gambar 1)
- 2) Bahan yang dipergunakan adalah :
 - Tempurung kelapa
 - Tongkol jagung
 - Bambu



Keterangan:

1. Reaktor pyrolisis
2. Kondensor
3. Siklon
4. Tangki Filter
5. Blower
6. Temperatur Indicator
7. Selang gas
8. Tempat penampung asap cair
9. Tempat pengeluaran arang

Gambar 1 *Slow pirolisis*

Hasil dan Pembahasan

Pirolisis merupakan suatu reaksi dengan tiga tahap penting, yaitu tahap memulai, tahap perambatan dan tahap penghentian. Pada tahap memulai akan terjadi pemutusan rantai ikatan yang lemah karena adanya kenaikan suhu. Radikal bebas yang telah terbentuk pada tahap perambatan akan terpecah lagi membentuk radikal bebas baru yang lebih kecil, atau senyawa stabil (Sabarodin & Dewanto, 1998 dalam Tri Anggono, dkk, 2009).

Sebelum proses pirolisis dilakukan, mula-mula dilakukan pengumpulan sampel yang berupa limbah pertanian tempurung kelapa, tongkol jagung dan bambu. Setelah limbah pertanian tersebut terkumpul, kemudian dilakukan penjemuran agar diperoleh berat kering dari sampel dan pembersihan masing-masing jenis sampel yang akan digunakan. Sampel-sampel tersebut dipotong kecil-kecil dengan ukuran 5 – 10 cm yang bertujuan untuk memperkecil luas permukaan dari sampel agar lebih mudah dalam proses penimbangan, memasukkan ke dalam alat slow pirolisis dan proses pembakaran. Kemudian sampel ditimbang dengan berat masing-masing sampel 25 kg. Setelah itu api dinyalakan lalu blower dihidupkan sampai api membesar dan penutup slow pirolisis ditutup rapat hingga tidak ada celah untuk asap dari proses pembakaran keluar, hingga mencapai temperature 300°C.

Pada temperatur ini sampel dapat terbakar habis dan menghasilkan asap cair grade 3. Asap cair yang dihasilkan antara lain: tempurung kelapa 1000 ml pada proses pembakaran selama 8 jam, tongkol jagung 1200 ml dengan proses pembakaran selama 5,5 jam dan bambu 900 ml dengan proses pembakaran selama 5,5 jam. Dalam slow pirolisis tidak ada yang tersisah (terbakar seluruhnya).

Pada temperatur 300°C, asap dari reactor pirolisis mulai keluar melewati kondensor (sistem pendingin), menuju kesiklon dan tangki filter, kemudian asap mulai keluar melewati selang berupa asap cair grade 3 dan asap menuju tempat penampungan asap cair grade 3. Asap cair grade 3 yang dihasilkan dari proses pirolisis tersebut kemudian diukur volumenya menggunakan gelas ukur, kemudian dimasukkan ke dalam botol bahan yang ditutup rapat dan disimpan pada temperatur kamar. Hasil dari

penelitian asap cair grade 3 dengan proses slow Pirolisis Suhu 300 °C dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2 Asap cair grade 3 dari tempurung Kelapa (a), Asap cair grade 3 dari bambu (b), dan Asap cair grade 3 dari tongkol jagung (c)

Asap cair grade 3 yang di hasilkan pada proses slow pirolisis dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5 Karakteristik asap cair grade 3 dari Tempurung kelapa, tongkol jagung dan bambu

Jenis sampel	Suhu pirolisis (°C)	Asap cair	
		Rendaman (% b/b)	Warna
Tempurung kelapa	300	40 %	Merah kecoklatan
Tongkol jagung	300	48 %	Kuning
Bambu	300	36 %	Kuning kecoklatan
Total	–	124	–

Analisis dengan GC-MS

Asap cair grade 3 yang dihasilkan dari proses pirolisis tersebut, masing-masing dimasukkan ke dalam botol dan ditutup rapat untuk dilakukan analisis menggunakan GC-MS untuk diketahui komponen kimia penyusunnya. Pada penelitian ini preparasi dan analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Brawijaya Malang. Adapun kromatogram dari ketiga sampel dapat terlihat dibawah ini :

Tabel 6 Kandungan kimia asap cair teridentifikasi GC-MS (tempurung kelapa)

No peak	Waktu retenensi (menit)	Nama senyawa	Konsentrasi (%)
1	2.244	Acetic Acid	81.00
		Ethyllic acid	
		Vinegar acid	
		Ethanoic acid	
		Glacial acetic acid	
		Methanecarboxylic acid	
2	2.391	Propanoic Acid	4.91
		Propionic acid	
		Prozoin	
		Luprosil	
		Luprisol	
		Carboxyethane	
		Metacetic acid	
3	3.089	Ethylformic acid	5.64
		2-furancarboxaldehyde	
		furfural	
		2-Furaldehyde	
		Fural	
		Furole	
		Furale	
		Furfurole	
		2-Furfura	
		Furaldehyde	
4	3.233	2-propanone	2.98
		1-(acetyloxy)	
		Acetol acetate	
		Acetoxyacetone	
		O-Acetylacetol	
		Acetoxypropanone	
		1-Acetoxyacetone	
5	4.507	Phenol	5.47
		Izal	
		PhOH	

No peak	Waktu retenensi (menit)	Nama senyawa	Konsentrasi (%)
		Benzenol	
		Oxybenzene	
		Monophenol	
		Phenic acid	
		Carbolic acid	
		Phenylic acid	

Dari hasil GC-MS dapat diketahui bahwa kandungan phenol konsentrasi 5.47% dengan waktu retensi 4.507 menit lebih rendah dari senyawa lain dalam asap cair yang masih besar yaitu Acetic Acid, Ethyllic acid, Vinegar acid, Ethanoic acid, Glacial acetic acid dan Methanecarboxylic acid. Hal ini dikarenakan pada suhu 300°C, struktur biomasa terdekomposisi dengan melepaskan uap. Uap yang terlepas terdiri dari gas-gas yang terdekomposisi seperti CO, H₂, metana, dan gas CO₂, serta uap yang terdekomposisi seperti air, asamasetat, methanol, asetondan tar.

Tabel 7 Kandungan kimia asap cair teridentifikasi GC-MS (tongkol jagung)

No peak	Waktu retenensi (menit)	Nama senyawa	Konsentrasi (%)
1	2.240	Acetic Acid	84.45
		Ethyllic acid	
		Vinegar acid	
		Ethanoic acid	
		Glacial acetic acid	
		Methanecarboxylic acid	
2	2.384	CH ₃ COOH	4.02
		Propanoic Acid	
		Propionic acid	
		Prozoin	
3	3.086	Luprosil	2.29
		Luprisol	
		Carboxyethane	
		Metacetic acid	
		Ethylformic acid	
		2-furancarboxaldehyde	
		furfural	
2-Furaldehyde			
		Fural	
		Furole	

No peak	Waktu retenensi (menit)	Nama senyawa	Konsentrasi (%)
4	3.224	Furale	2.52
		Furfurole	
		2-Furfural	
		Furaldehyde	
		2-propanone	
		1-(acetyloxy)	
		Acetol acetate	
5	4.502	Acetoxyacetone	6.73
		O-Acetylacetol	
		Acetoxypropanone	
		Phenol	
		Benzenesulfonic	
		Izal	
		PhOH	
		Benzenol	
		Oxybenzene	
		Monophenol	
		Phenic acid	
Carbolic acid			
Phenylic acid			

Dari fraksi tongkol jagung dipeoleh 40 senyawa dimana senyawa acetic acid konsentrasinya lebih besar yaitu 84.45% sedangkan waktu retensi yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan dengan senyawa lain yaitu 2.240 menit. Hasil GC-MS pada tongkol jagung juga terdapat senyawa phenol dengan konsentrasi 6.73% dengan waktu retensi 4.502 menit. Keberadaan senyawa-senyawa kimia dalam asap cair dipengaruhi oleh kandungan kimia dari bahan baku yang digunakan dan suhu yang dicapai pada proses pirolisis (Djarmiko, 1985). Berkaitan dengan hal tersebut, Byrne dan Nagle (1997) dalam Abdul Gani Haji, dkk, 2006 mengatakan penguapan, penguraian atau dekomposisi komponen kimia pada proses slow pirolisis terjadi secara bertahap, yaitu pada suhu 100-150 °C hanya terjadi penguapan molekul air; pada suhu 200°C mulai terjadi penguraian hemiselulosa; pada suhu 240 °C mulai terdekomposisi selulosa menjadi larutan pirolignat, gas CO, CO₂, dan sedikit ter; pada suhu 240 °C-300°C, terjadi proses dekomposisi

selulosa dan lignin menjadi larutan pirolignat, gas CO, CH₄, H₂ dan ter lebih banyak.

Tabel 8 Kandungan kimia asap cair teridentifikasi dengan GC-MS (bambu)

No peak	Waktu retenensi (menit)	Nama senyawa	Konsentrasi (%)
1	2.233	Acetic Acid	43.63
		Ethylic acid	
		Vinegar acid	
2	2.279	Ethanoic acid	38.12
		Glacial acetic acid	
		Methanecarboxylic acid CH ₃ COOH	
		Hexane	
		n-Hexane	
		Butanal	
		2-methyl	
		Skellysolven-C6H14	
		Esani	
		Heksan	
		Hexanen	
3	2.333	Hexyl hydride	6.19
		Gettysolve-B	
		Hexane	
		n-Hexane	
		Skellysolve B	
		n-C6H14	
4	3.076	Esani	3.93
		Heksan	
		Hexanen	
		Hexyl hydride	
		Gettysolve-B	
		2-furancarboxaldehyde	
		furfural	
		2-Furaldehyde	
		Fural	
		Furole	
Furale			
5	4.491	Furfurole	5.35
		2-Furfural	
		Furaldehyde	
		Phenol	
		Benzenol	
		Oxybenzene	
		Izal	
		PhOH	
		Monophenol	
		Phenic acid	
		Carbolic acid	
6	6.351	Phenylic acid	1.19
		Hydroxybenzene	
		Phenyl hydrate	
		Phenyl alcohol	
		3-methyl	
		m-cresol	
		m-toluol	
m-Oxytoluene			
Cresol			

No peak	Waktu retensi (menit)	Nama senyawa	Konsentrasi (%)
7	6.851	m-Kresol	1.59
		3-Cresol	
		m-Cresole	
		m-Methylphenol	
		3-Methylphenol	
		m-Cresylic acid	
		m-Hydroxytoluene	
		3-Hydroxytoluene	
		1-Hydroxy-3-methyl	
		2-methoxy	
		Guaiacol	
		o-Methoxyphenol	
		Guajol	
		Guasol	
		Anastil	
		Guaiastil	
		Guaiocolina	
o-Guaiacol			
Pyroguaiac acid			
o-Hydroxyanisole			
2-Hydroxyanisole			
O-Methyl catechol			

Kandungan kimia asap cair dari hasil GC-MS pada bamboo terdapat 7 nomor peak dan 75 senyawa. Diketahui bahwa kandungan Acetic Acid konsentrasi 43.63% dengan waktu retensi 2.233 menit lebih tinggi dari senyawa lain sedangkan yang paling sedikit yaitu senyawa 2-methoxy, Guaiacol dengan konsentrasi 1.59% dan waktu retensi lebih tinggi 6.851 menit dibandingkan dengan acetic acid. Senyawa asam terutama asam asetat mempunyai aktivitas antimikrobia dan pada konsentrasi 5% mempunyai efek bakterisidal. Asam asetat bersifat mampu menembus dinding sel dan secara efisien mampu menetralkan gradien pH trans membran.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses *slow* pirolisis limbah tempurung kelapa tongkol jagung dan bamboo pada suhu 300 °C

menghasilkan asap cair grade 3, terdandang. Asap cair grade 3 yang mempunyai rendaman tertinggi yaitu tongkol jagung 48 %, tempurung kelapa 40 % dan bambu 36 %.

2. Dari hasil GC-MS dapat diketahui bahwa kandungan senyawa phenol yang paling tertinggi yaitu tongkol jagung dengan konsentrasi 6.73 % pada waktu retensi 4.502 menit dan senyawa acetic acid yang paling tertinggi yaitu tongkol jagung dengan konsentrasi 84.45 % pada waktu retensi 2.240 menit.

Daftar Pustaka

- Alexander, M.A. & T.W. Jeffries. 1990. Respiratory Efficiency and Metabolize Partitioning As Regulatory Phenomena in Yeasts. *Enzyme Microb. Technol.* 12:2-29.
- Elevri P.A dan Putra S.R, 2006. Produksi Etanol menggunakan *Saccharomyces*
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W. dan Hendroko, R. 2007. Teknologi Bioenergi. Agro Media Pustaka, Jakarta
- Hidayat, N., Padaga, M. C. dan Suhartini, S. 2006. Mikrobiologi Industri. Andi Offset. Yogyakarta
- Judoamidjojo, Muljono, Darwis, A.A, dan Sa'id, E.G. 1992. Teknologi Fermentasi
- Rahman, A. 1992. Teknologi Fermentasi. Arcana. Jakarta
- Sa'id, E.G. 1987. Teknologi Fermentasi. CV. Rajawali. Jakarta
- Soetedjo. 1986. Fluid Flow, Angkasa. Bandung